

УДК 621.923

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТЕЙ УМЕНЬШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Новиков Ф.В., Рябенков И.А.

(ХНЭУ, г. Харьков, Украина)

Введение

Вопросы обеспечения высококачественной обработки, исключаяющей прижоги, микротрещины и другие температурные дефекты, являются важными и актуальными для машиностроения. Их решению посвящены многочисленные исследования [1,2]. Разработаны теоретические основы теплофизики процессов обработки. Определены и реализованы условия снижения температуры резания, состоящие в применении более совершенных конструкций инструментов и эффективных технологических сред, оптимизации параметров режимов резания и т.д. Вместе с тем, возможности управления тепловыми процессами при механической обработке используются не в полной мере, в особенности при шлифовании. Это связано с тем, что расчеты температуры резания выполнены в основном для условий многопроходного шлифования, когда практически все выделяющееся при резании тепло уходит в обрабатываемую деталь. При съеме увеличенных припусков баланс образующегося тепла изменяется. Значительная часть тепла уходит в образующиеся стружки, что открывает новые возможности в снижении теплонапряженности процесса шлифования и повышении производительности обработки. Поэтому целью настоящей работы является определение путей уменьшения температуры резания при одновременном повышении производительности механической обработки.

Основное содержание работы

В наших работах [3,4] предложена новая математическая модель определения температуры при шлифовании, основанная на учете баланса тепла, уходящего в образующиеся стружки и обрабатываемую деталь. Теоретически показано, что с увеличением глубины шлифования t и скорости детали $V_{дет}$ (удельной производительности обработки $Q_{уд}$ или времени контакта шлифовального круга с фиксированным сечением обрабатываемой детали), в отличие от известных решений, температура резания θ увеличивается не беспредельно, а примерно по экспоненциальному закону, асимптотически приближаясь к значению, определяемому зависимостью (рис. 1,а):

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho}, \quad (1)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²; c, ρ – соответственно удельная теплоемкость (Дж/кг·К) и плотность обрабатываемого материала (кг/м³).

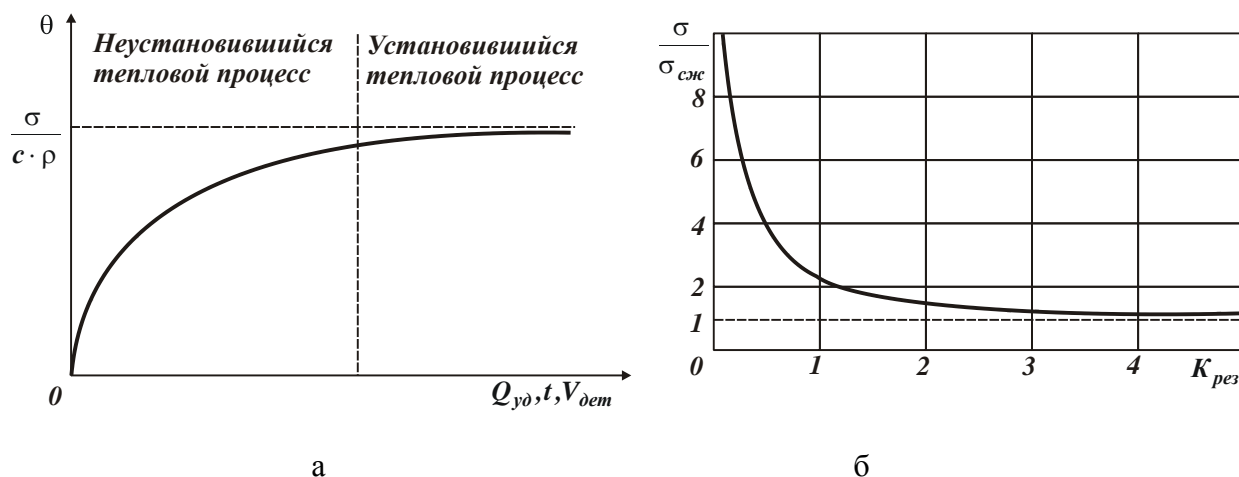


Рис. 1. Зависимость θ от $Q_{уд}$, t и $V_{дем}$ (а) и зависимость отношения $\sigma / \sigma_{сж}$ от коэффициента резания $K_{рез}$ (б).

Следовательно, при достижении определенной температуры, она в дальнейшем остается неизменной с увеличением удельной производительности обработки $Q_{уд}$. Это открывает новые возможности интенсификации процесса шлифования, а также других процессов механической обработки (точения, фрезерования, сверления, зенкерования, развертывания) в плане обеспечения высокого качества обработки (обусловленного исключением температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях) в условиях высокопроизводительного съема припуска. Этим также можно объяснить возможность практической реализации на современных станках производства западноевропейских фирм высокоскоростного резания со скоростью 100–200 м/с (т.е. при увеличении скорости резания до 100 раз) лезвийными инструментами без существенного увеличения температуры обработки, что позволяет многократно (до 10 раз и более) повысить производительность обработки при высоком качестве обрабатываемых поверхностей. Примером тому может служить опыт эффективного применения на Харьковском машиностроительном заводе «ФЭД» для высокоскоростной обработки деталей агрегатов авиационной техники из сталей и цветных металлов станков «HERMLE» на операциях растачивания, фрезерования, зенкерования, сверления и нарезания резьб. При этом, как установлено, практически все тепло, образующееся в процессе резания, переходит в стружку, что существенно улучшает качество и точность обработки. В большинстве случаев не требуется применение последующей трудоемкой абразивной доводочной обработки. На заводе «ФЭД» также с высокой экономической эффективностью реализован на современном импортном шлифовальном станке производительный процесс глубинного алмазного шлифования осевых режущих инструментов из быстрорежущей стали [4].

Из рис. 1,а следует, что существует установившийся тепловой процесс при шлифовании, не зависящий от режимов шлифования, а определяемый лишь условным напряжением резания σ (поскольку c, ρ являются характеристиками обрабатываемого материала). Что же представляет собой условное напряжение резания σ ? В наших работах [5, 6] приведена аналитическая зависимость для определения σ :

$$\sigma = \frac{2 \cdot \tau_{сдв}}{K_{рез}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2} \right), \quad (2)$$

где $\tau_{сдв} \approx 0,5 \cdot \sigma_{сж}$ – предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, Н/м²; $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м²; $K_{рез} = P_z / P_y$ – коэффициент резания; P_z, P_y – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н.

Характер изменения условного напряжения резания σ в зависимости от коэффициента резания $K_{рез}$ показан на рис. 1,б. Как видно, с увеличением $K_{рез}$ условное напряжение резания σ непрерывно уменьшается, асимптотически приближаясь к значению $\sigma = 2 \cdot \tau_{сдв}$. Из этого вытекает, что при резании возникают значительно большие напряжения, чем при обычном разрушении исследуемого образца путем его сжатия или растяжения на испытательной машине. И только при $K_{рез} \rightarrow \infty$ (или $P_y \rightarrow 0$) напряжения σ в двух случаях равны.

Известно, при шлифовании выполняется условие $K_{рез} < 1$, а при лезвийной обработке (точении), как правило, $K_{рез} \geq 1$. Следовательно, уменьшить условное напряжение резания σ можно за счет перехода от абразивной к лезвийной обработке, увеличивая таким образом коэффициент резания $K_{рез}$. При лезвийной обработке (т.е. при условии $K_{рез} \geq 1$) условное напряжение резания σ до 2,4 раза больше минимального значения $\sigma = 2 \cdot \tau_{сдв}$, а при абразивной обработке (шлифовании) – до 4...10 раз. На основе вышесказанного можно заключить, что поскольку существует минимальное значение условного напряжения резания $\sigma = 2 \cdot \tau_{сдв}$, то должно существовать и минимальное значение температуры установившегося теплового процесса при механической обработке, определяемой зависимостью:

$$\theta = \frac{2\tau_{сдв}}{c \cdot \rho}. \quad (3)$$

На основе зависимости (3) были рассчитаны значения температуры θ для различных обрабатываемых материалов (сталей и других металлических материалов) и установлено, что эти значения, как правило, не превышают температуры плавления указанных материалов. Следовательно, существует возможность реализации при резании данных материалов установившегося теплового процесса. Наиболее просто это достигается в условиях лезвийной обработки ($K_{рез} \geq 1$). Установлено, что в данном случае температура θ увеличится до 2,4 раза по сравнению с минимальным значением, т.е. примет значения 800...1200⁰С, что соизмеримо с температурой плавления рассматриваемых материалов.

При шлифовании температура θ , как следует из рис. 1,а и зависимости (1), может превысить температуру плавления обрабатываемого материала. Однако это не означает, что в этом случае не будет реализован установившийся тепловой процесс, т.к. с увеличением температуры, как известно, уменьшается прочность обрабатываемого

материала ($\tau_{сдв}$ и $\sigma_{сж}$). Согласно зависимости (3), это ведет к уменьшению температуры и она примет значение, равное температуре плавления обрабатываемого материала. Сделанный вывод хорошо согласуется с многочисленными экспериментальными данными, например, с результатами проф. Сагарды А.А. [7], полученными им при микрорезании единичными алмазными и абразивными зёрнами стали ШХ15, рис. 2. Как следует из рисунка, при условии $K_{рез} < 1$ температура установившегося теплового процесса равна температуре плавления стали ШХ15 и не зависит от ее твердости, марки режущего зерна, скорости и глубины микрорезания, т.е. от режимов обработки.

Температура θ , рассчитанная по зависимости (3) для стали ШХ15 ($c \cdot \rho = 5 \cdot 10^6$ Дж/м³·град; $\sigma_{сж} = 2 \cdot 10^9$ Н/м²) равна 400⁰С. Это в 3,75 раза меньше температуры плавления стали ШХ15 (1500⁰С). Следовательно, при микрорезании алмазным зерном (при $K_{рез} = 0,5$) установившийся тепловой процесс может быть реализован лишь при температуре θ , равной температуре плавления стали ШХ15. Этим собственно и объясняются приведенные на рис. 2 экспериментальные данные. Таким образом, для того чтобы уменьшить температуру установившегося теплового процесса при шлифовании необходимо увеличить коэффициент резания (коэффициент шлифования $K_{ш}$) до значения, близкого к единице, что может быть реализовано при шлифовании. В этом случае температура θ по сравнению с минимально возможным значением 400⁰С, установленным по зависимости (3), увеличится всего в 2,4 раза и примет значение 960⁰С, что ниже температуры плавления рассматриваемой стали ШХ15.

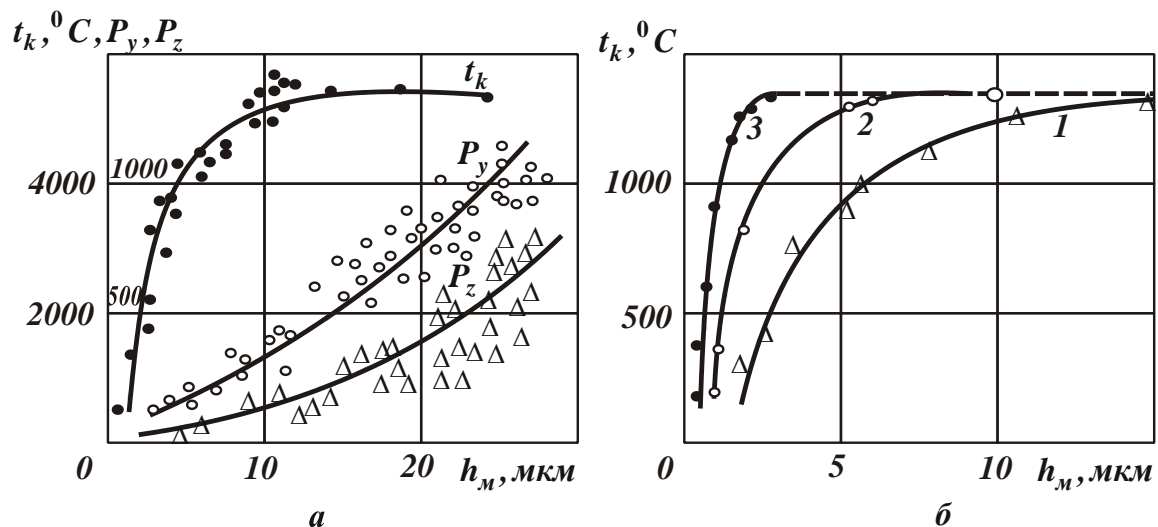


Рис. 2. Зависимости контактной температуры t_k и составляющих силы резания P_y , P_z (в Гс) от глубины резания h_m при микрорезании конусом со скоростью 27,5 м/с: а – сырая сталь ШХ15; б – 1 – сталь ШХ15 (твердость 210 НВ) алмазом; 2 – закаленная сталь ШХ15 (твердость 775 НВ) алмазом; 3 – закаленная сталь ШХ15 (твердость 775 НВ) карбидом кремния.

Выводы

Таким образом, в работе предложен новый теоретический подход к оценке возможностей уменьшения температуры при механической обработке и реализации

установившегося теплового процесса, обеспечивающего существенное повышение производительности при заданной температуре обработки. Установившийся тепловой процесс наиболее просто может быть реализован в условиях глубинного шлифования и лезвийной обработки (точения), в особенности при высокоскоростной обработке.

Список литературы: 1. Теплофізика механічної обробки: Підручник / Якимов О.В., Усов А.В., Слободяник П.Т., Іоргачов Д.В. – Одеса: Астропринт, 2000. – 256 с. 2. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с. 3. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов // Труды 13-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 8-20. 4. Новиков Ф.В., Рябенков И.А., Кленов О.С. Глубинное алмазное шлифование быстрорежущей стали // Труды 13-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 232-236. 5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. ”Механика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с. 6. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Серов Б.С., Якимов А.А. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. 7. Синтетические алмазы в машиностроении / Под ред. В.Н. Бакуля. – К.: Наук. думка, 1976. – 351 с.